

3. Внутренние санитарно-технические устройства. В 2-х ч., Ч. 2. Вентиляция и кондиционирование воздуха / В. Н. Богословский, И. А. Шепелев, В. М. Эльтерман [и др.]; под ред. И. Г. Старовойтова. Изд. 2-е, перераб. и доп. М. : Стройиздат, 1977. 502 с.

4. Талиев В. Н. Аэродинамика вентиляции. М. : Стройиздат, 1954. 288 с.

5. Зиганшин А. М. Численное моделирование течения в двухмерном тройнике / А. М. Зиганшин, В. Н. Посохин, Л. Н. Бадыкова, Г. А. Гимадиева // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2015. № 5. С. 89–95.

УДК 697.357:536.253

Мингазеева Д. Н., Зиганшин А. М.  
Казанский государственный архитектурно-строительный университет  
amziganshin@kgasu.ru

## **ЗАВИСИМОСТЬ ТЕПЛООТДАЧИ РЕГИСТРА ИЗ ДВУХ ТРУБ ОТ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ НИМИ**

**Аннотация.** В работе определена зависимость теплоотдачи двухрядного отопительного регистра от расстояния между ними. Показано, что наиболее высокая теплоотдача достигается при расстояниях более 2 диаметров.

Гладкотрубные регистры часто используются в качестве отопительных приборов в помещениях, где не очень важна эстетика, например, в промышленных зданиях, или важна гигиена (медицинские учреждения), поскольку это наиболее удобный для очистки отопительный прибор. В инженерной практике для расчета теплоотдачи и соответственно при проектировании систем отопления с применением таких приборов пользуются данными о теплоотдаче открыто проложенных горизонтальных трубопроводов (например [1, 2]). Данные в таких справочниках обычно ограничены по диаметрам трубопроводов, а также не дают информации об отличии теплоотдачи от верхних труб в регистре. Данные о теплоотдаче цилиндров также приводятся в справочниках по теплоотдаче (например, [3]). Здесь приводятся критериальные уравнения для определения теплоотдачи от одиночного цилиндра.

Имеются исследовательские работы по определению теплоотдачи для ряда цилиндров расположенных друг над другом. Например, в [4] авторами экспериментально определены зависимости для локальной теплоотдачи по поверхности верхнего цилиндра, находящегося на расстояниях  $s/D = 0,5; 1; 2$  от нижнего ( $s$  – расстояние между поверхностями цилиндров диаметром  $D$ , рис. 1). Эксперименты проводились для конвекции в воде и диапазона чисел  $Ra$   $2 \cdot 10^6 \dots 4 \cdot 10^6$ . Авторами показано, что с увеличением относительного расстояния  $s/D$  теплоотдача верхнего цилиндра растет, также она растет и при увеличении числа  $Ra$ . В работе [5] также экспериментально была исследована средняя теплоотдача цилиндров в ряду, находящихся в воздухе, дополнительно исследовалась зависимость от горизонтального смещения цилиндров,

находящихся в вертикальном ряду, между собой. Данные получены для диапазона чисел  $Ra$   $2 \cdot 10^4 \dots 4 \cdot 10^5$ . Аналогичные результаты получены в [6] для пары горизонтальных цилиндров без горизонтального смещения.

Очевидно, что отличие теплоотдачи верхнего цилиндра (ВЦ) происходит из-за отличия условий, в которых он находится, по сравнению с нижним. Нижний цилиндр (НЦ) находится практически в условиях теплоотдачи аналогичных одиночному цилиндру. Верхний же, с одной стороны, находится в потоке нагретого воздуха, возникающем над НЦ, что должно приводить к снижению его теплоотдачи, а с другой стороны, конвективная струя от НЦ приводит к тому, что конвекция ВЦ уже не чисто естественная, а к ней добавляется вынужденная составляющая. При этом ясно, что чем больше расстояние от НЦ, тем ниже скорость конвективного потока, но и ниже его температура. По-видимому, существует некоторое оптимальное расстояние между цилиндрами, при котором теплоотдача ВЦ в регистре из двух труб будет максимальной.

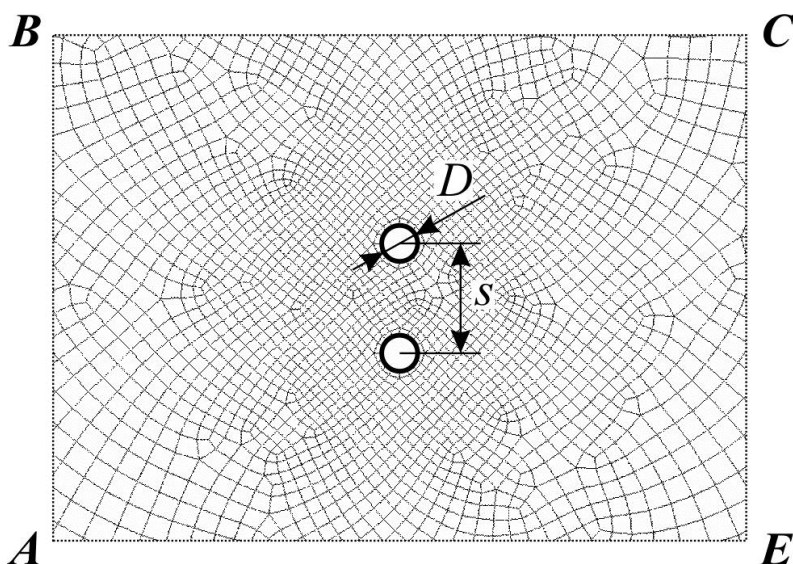


Рис. 1. Геометрия расчетной области и сетка численного решения

В работе с использованием результатов работы авторов [7] проводится численное исследование зависимости теплоотдачи цилиндров двухрядного регистра в зависимости от расстояния  $s/D$ . На рис. 1 показана геометрия расчетной области и первоначальная (неизмельченная) расчетная сетка (для случая  $s/D=3$ ). Все окружающие границы ( $ABCE$ ) моделировались проницаемыми, а на цилиндрах было задано граничное условие стенки, с постоянным тепловым потоком  $1000 \text{ Вт/м}^2$ . В качестве модели замыкания принята «стандартная»  $k$ - $\epsilon$  модель турбулентности. Поскольку важным при моделировании теплоотдачи является моделирование пристеночной области, проверяются две, имеющиеся в расчетном комплексе модели – стандартных пристеночных функций (Standard Wall Functions – SWF) и расширенное пристеночное моделирование (Enhanced Wall Treatments – EWT).

Для наглядности на рис. 1 показана часть области вблизи цилиндров. Высота области 10,4 м, ширина – 8 м. Диаметр цилиндров – 100 мм. Был решен

ряд задач для  $s/D = 1,75; 2,0; 2,5; 3$ . Для каждой задачи первоначально проводилась проверка на сеточную зависимость. За окончательное решение принималось то, в котором контрольный параметр (значение  $Nu$ ) не отличался от предыдущего (полученного на более крупной сетке) более чем на 3 %.

На рис. 2 приведены результаты проведенного численного расчета, в виде изменения относительного числа  $Nu/Nu_0$  в зависимости от  $s/D$ . Здесь  $Nu_0 = 0,54 \cdot (Ra)^{0,25}$  [3] (число  $Ra$  в решенных задачах изменялось в пределах  $4,6 \cdot 10^6 \dots 4,9 \cdot 10^6$ ). Видно, что при использовании расширенного пристеночного моделирования (EWT) теплоотдача верхнего цилиндра хорошо сопоставляется с экспериментальными данными [6], а для нижнего цилиндра значение практически не меняется и близко к единице, т. е. к значению теплоотдачи одиночного цилиндра. Стандартные пристеночные функции (SWF) показывают гораздо худшее соглашение.

Результаты, полученные с использованием расширенного пристеночного моделирования, показывают, что на расстоянии  $s/D$  около 2,2 теплоотдача верхнего цилиндра начинает превышать теплоотдачу нижнего, а значит одиночного цилиндра.

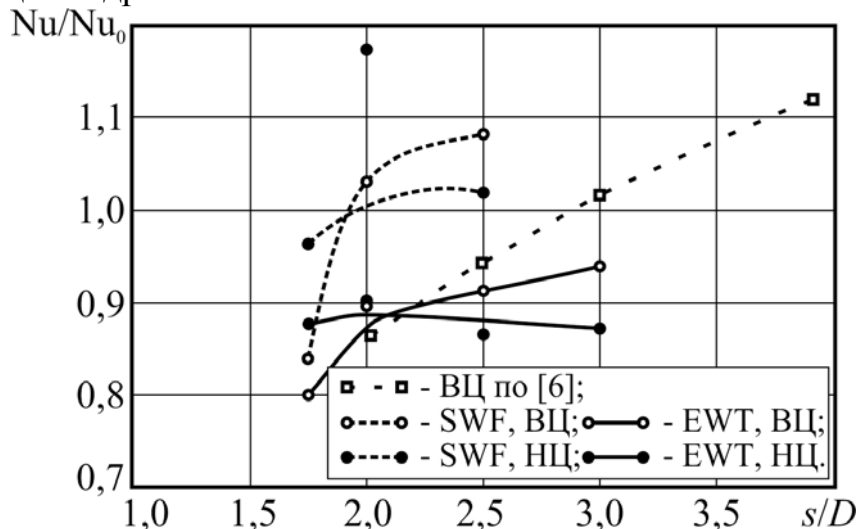


Рис. 2. Зависимость теплоотдачи цилиндров от расстояния между ними

При исследованных значениях расстояния  $s/D$  теплоотдача БЦ продолжает увеличиваться с увеличением  $s/D$ . С академической точки зрения, интересно продолжить исследования для определения расстояния, при котором будет достигнут максимум теплоотдачи верхнего цилиндра, однако ясно, что с практической стороны, делать слишком большое расстояние между трубами в регистре не рационально.

Важно также отметить возможность исследования численными методами конвективной струи, возникающей над отопительными регистрами – такая информация важна для правильного и наиболее энергоэффективного проектирования систем отопления и вентиляции.

#### Список использованных источников

1. Внутренние санитарно-технические устройства. В 3 ч. Ч. 1. Отопление / под ред. И. Г. Старовойра и Ю. И. Шиллера. Изд. 4-е, перераб. и доп. М. : Стройиздат, 1990. 344 с.

2. Справочник по теплоснабжению и вентиляции. Кн. 1. Отопление и теплоснабжение / Р. В. Щекин [и др.]. Киев: Будивельник, 1976. 416 с.
3. Уонг Х. Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров: справочник / Х Уонг; пер. с англ. М. : Атомиздат, 1979. 216 с.
4. Reymond O., Murray D. B., O'Donovan T. S. Natural convection heat transfer from two horizontal cylinders // Exp. Therm. Fluid Sci. 2008. Vol. 32. № 8. P. 1702–1709.
5. Sparrow E. M., Boessneck D. S. Effect of Transverse Misalignment on Natural Convection From a Pair of Parallel, Vertically Stacked, Horizontal Cylinders // J. Heat Transfer. 1983. Vol. 105. № 2. P. 241.
6. Sparrow E., Niethammer J. Effect of vertical separation distance and cylinder-to-cylinder temperature imbalance on natural convection for a pair of horizontal cylinders // J. Heat Transfer. 1981. Vol. 103. November. P. 638–644.
7. Зиганшин А. М. Тестирование численной схемы решения задачи о конвекции над двухрядным гладкотрубным регистром / А. М. Зиганшин, А. Ю. Горохова, Д. Н. Мингазеева // Качество внутреннего воздуха и окружающей среды: материалы XII Междунар. науч. конф., 23 марта – 3 апреля 2014 г., г. Хайфа / сост. А. Н. Гвоздков; Волгогр. гос. архит.- строит. ун-т. Волгоград: ВолгГАСУ, 2014. С. 264-267.

## **НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ. МАЛАЯ ЭНЕРГЕТИКА. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

УДК 622.331

Бородихина Е. В., Мифтахутдинов И. Д., Резник М. А., Журавлев А. В.  
Уральский государственный горный университет  
albert3179@mail.ru

### **ФИЗИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ МОДЕРНИЗАЦИИ И ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ТОРФА МЕТОДОМ ФОРМОВАНИЯ**

**Аннотация.** В работе рассмотрены физико-технологические способы модернизации и повышения эффективности производства формованного торфа. Показаны недостатки существующего фрезерного способа добычи торфа. Приведены показатели повышения качества продукции при воздействии на торфяное сырье энерготехнологических методов.

Недостатки существующего фрезерного способа добычи торфа – это низкая экономическая эффективность, обусловленная низким качеством продукции (являющимся, по существу, полуфабрикатом): малая плотность и высокая влажность. Не менее серьезным недостатком является крайне высокая пожароопасность вследствие того, что сотни и тысячи осушенных гектаров технологических площадей покрыты сухой фрезерной крошкой.